
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2015/2016 Academic Session

June 2016

EEE 354/3 – DIGITAL CONTROL SYSTEM
[SISTEM KAWALAN DIGIT]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please check that this examination paper consists of **TWELVE (12)** pages of printed material and **TWO (2)** pages of Appendix before you begin the examination. English version from page **TWO (2)** to page **SIX (6)** and Malay version from page **SEVEN (7)** to page **TWELVE (12)**.

*Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini. Versi Bahasa Inggeris daripada muka surat **DUA (2)** sehingga muka surat **ENAM (6)** dan versi Bahasa Melayu daripada muka surat **TUJUH (7)** sehingga muka surat **DUA BELAS (12)**.*

Instructions: This question paper consists **SIX (6)** questions. Answer **FIVE (5)** questions. All questions carry the same marks.

[Arahan: Kertas soalan ini mengandungi **ENAM (6)** soalan. Jawab **LIMA (5)** soalan. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama].

Answer to any question must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baharu].

“In the event of any discrepancies, the English version shall be used”.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai].

ENGLISH VERSION

1. (a) Given

$$E(s) = \frac{20}{(s-4)(s-2)}$$

Find the z-transform, $E(z)$

(10 marks)

- (b) The difference equation for a discrete control system is given by.

$$y[k] = 6y[k-1] - 8y[k-2] + u[k]$$

$$u[k] = \begin{cases} 1, & k \geq 0 \\ 0, & k < 0 \end{cases}$$

$$y[-2] = y[-1] = 0$$

- (i) By stating any assumptions made, solve the given difference equation for $y(k)$ using the z-transform

(40 marks)

- (ii) Will the final value theorem give the correct value of $y(k)$ as $k \rightarrow \infty$?

(15 marks)

- (iii) By using the sequential method, find the values of $y(k)$ for $k = 0, 1, 2$.

(15 marks)

- (iv) Draw the simulation diagram for the system.

(20 marks)

2. Figure 2 represents the block diagram of a control system.

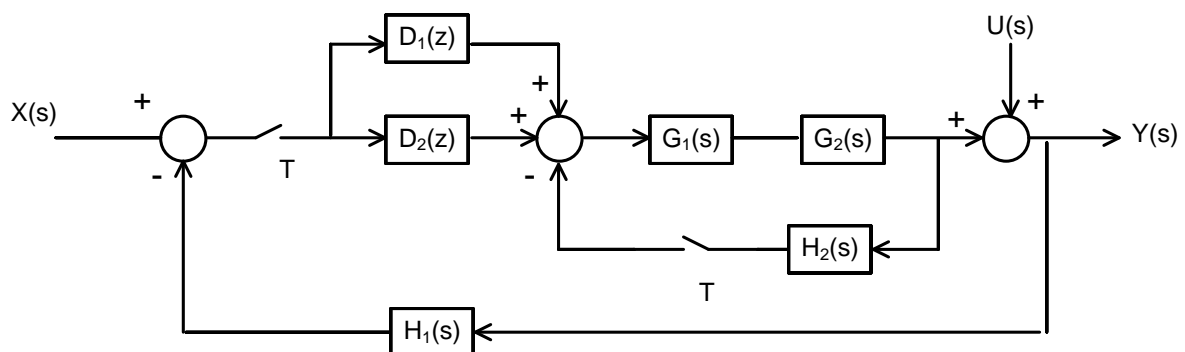


Figure 2

- (a) Obtain the transfer function of the system. You may use OFG, SFG and Mason's Gain formula where appropriate.

(70 marks)

- (b) If,

$$G_1(s) = \frac{10}{s+5}$$

$$G_2(s) = \frac{1}{s+2}$$

$$H_1(s) = H_2(s) = 1$$

$$D_1(z) = \frac{z}{z-1}$$

$$D_2(z) = 1$$

Determine the actual transfer function of the system based on the transfer function obtained in (a) for $T = 1s$. State any assumptions made.

(30 marks)

3. An open-loop control system can be represented by the diagram shown in Figure 3:

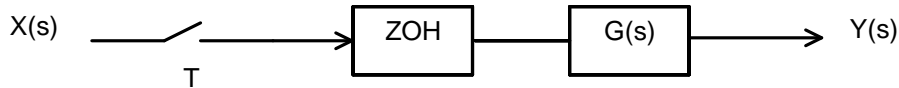


Figure 3

If

$$G_p(s) = \frac{3}{(s+2)}$$

- (a) By stating any assumptions made, determine the transfer function of the system.

(30 marks)

- (b) Determine the system response at the sampling interval if the input is a unit step function.

(30 marks)

- (c) What is the system response at $kT = 4s$?

(10 marks)

- (d) Determine the transfer function of the system if

$$G(s) = \frac{e^{-0.3s}}{(s+2)}$$

(30 marks)

4. Consider the satellite system shown in Figure 4(a) where its control system is as shown in Figure 4(b). For this problem, the sampling time is $T=0.1$ s, inertial $J= 0.1$

$$\frac{kg \cdot g}{s^2}, H_k = 0.02, D(z)=1. \text{ It is given that } G(z) = Z \left[\frac{1 - e^{-sT}}{s} \frac{10}{s^2} \right] = \frac{0.05(z+1)}{(z-1)^2}.$$

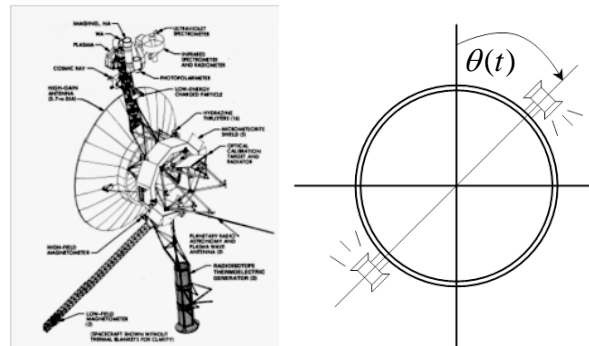


Figure 4(a) Satellite and its free body diagram

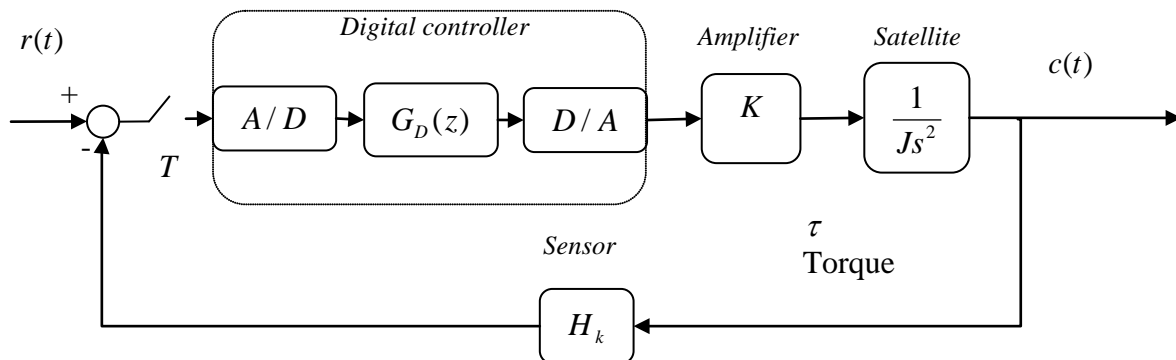


Figure 4(b) Satellite digital control system

- (a) Investigate the system by deriving a closed-loop characteristic equation.

(10 marks)

- (b) Analyse the digital system $G(z)$ by employing the frequency-domain analysis to determine the following parameters:

(Note: If you use Nyquist plot, then show all the important points. If Bode plot is employed, asymptotic approximation approach is assumed).

- (i) Phase-cross over frequency (5 marks)

- (ii) Gain-cross over frequency (5 marks)

- (iii) Gain-margin (10 marks)

- (iv) Phase-margin (10 marks)

- (v) Frequency-domain plot (Bode plot/ Nyquist plot) (30 marks)

- (c) What can be deduced about the system stability? (10 marks)

- (d) Determine both the s-plane frequency and the w-plane frequency at which the system will oscillate when marginally stable. (20 marks)

5. Consider the system shown in Figure 5.

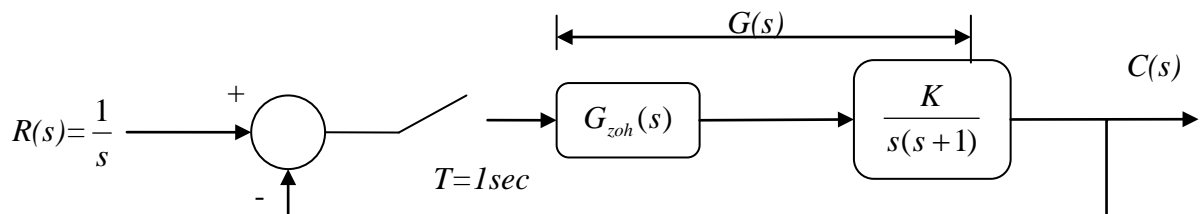


Figure 5 A closed-loop digital control system

- (a) For $K=1$, verify that the closed-loop transfer function for the digital control system shown is

$$\frac{G(z)}{1 + G(z)} = \frac{0.368z + 0.264}{z^2 - z + 0.632}$$

(20 marks)

- (b) For $K=1$, investigate the digital control system shown in Figure 5 by computing the following system performance specification:
- (i) Damping ratio ζ (10 marks)
 - (ii) Natural frequency, ω_n (10 marks)
 - (iii) The time constant, τ (10 marks)
- (c) Utilising the theorem you have learnt, investigate the system steady-state performance by obtaining the steady-state error to
- (i) a step input. (20 marks)
 - (ii) a ramp input (20 marks)
- (d) Discuss about the trade-offs exist between small steady errors and adequate system stability. (10 marks)
6. Given a digital control system with the following open-loop transfer function:
- $$Z[G_{Zoh}(s)G(s)] = G(z) = \frac{0.00484z + 0.00468}{(z-1)(z-0.905)}$$
- Assume the sampling time is $T=1$ s and the system has unity feedback gain.
- (a) Determine the corresponding characteristic equation for the digital control system above. (15 marks)
 - (b) Determine the range of gain K for stability by the use of Jury stability test. (35 marks)
 - (c) Find the gain K at which the system is critically stable. (20 marks)
 - (d) Find the frequency of the sustained oscillation (during critically stable). (30 marks)

VERSI BAHASA MELAYU

1. (a) Diberikan

$$E(s) = \frac{20}{(s-4)(s-2)}$$

Cari jelmaan z, $E(z)$

(10 markah)

- (b) Persamaan kebezaan bagi suatu sistem kawalan diskret diberikan oleh.

$$y[k] = 6y[k-1] - 8y[k-2] + u[k]$$

$$u[k] = \begin{cases} 1, & k \geq 0 \\ 0, & k < 0 \end{cases}$$

$$y[-2] = y[-1] = 0$$

- (i) Dengan menyatakan andaian yang dibuat, selesaikan persamaan kebezaan yang diberikan bagi $y(k)$ dengan menggunakan jelmaan z.

(40 markah)

- (ii) Adakah teori nilai akhir akan memberikan nilai yang betul bagi $y(k)$ apabila $k \rightarrow \infty$?

(15 markah)

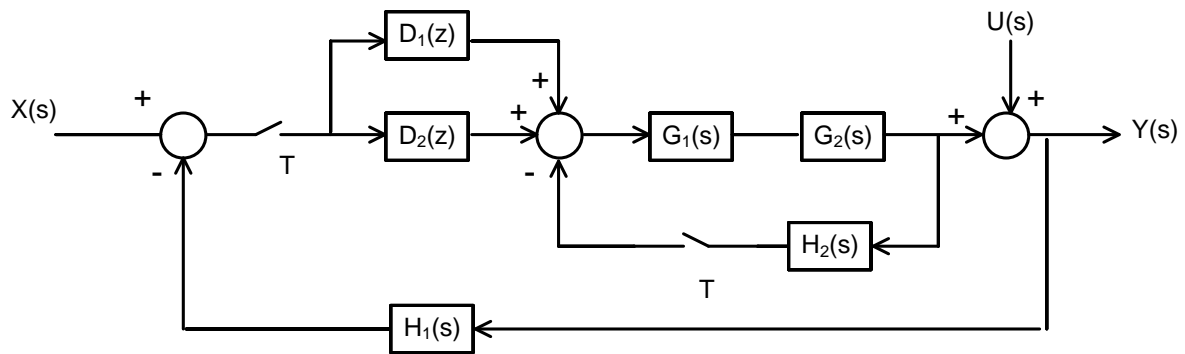
- (iii) Dengan menggunakan kaedah jujukan, dapatkan nilai $y(k)$ bagi $k = 0, 1, 2$

(15 markah)

- (iv) Lukiskan gambarajah simulasi bagi sistem tersebut.

(20 markah)

2. Rajah 2 menunjukkan gambarajah blok bagi suatu sistem kawalan.



Rajah 2

(a) Dapatkan fungsi pindah bagi sistem tersebut. Anda boleh gunakan OFG, SFG and formula untung Mason di mana bersesuaian.

(70 markah)

(b) Jika,

$$G_1(s) = \frac{10}{s+5}$$

$$G_2(s) = \frac{1}{s+2}$$

$$H_1(s) = H_2(s) = 1$$

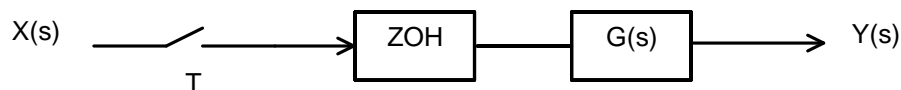
$$D_1(z) = \frac{z}{z-1}$$

$$D_2(z) = 1$$

Tentukan fungsi pindah yang sebenar bagi sistem berdasarkan fungsi pindah yang didapati dalam (a) bagi $T = 1s$. Nyatakan sebarang andaian yang dibuat.

(30 markah)

3. Suatu system gelung terbuka boleh diwakilkan oleh gambarajah yang ditunjukkan dalam Rajah 3:



Rajah 3

Jika,

$$G_p(s) = \frac{3}{(s+2)}$$

(a) Dengan menyatakan andaian yang dibuat, tentukan fungsi pindah bagi sistem tersebut.

(30 markah)

(b) Tentukan sambutan sistem pada julat pensampelan jika masukan adalah fungsi unit langkah.

(30 markah)

(c) Apakah sambutan sistem pada $kT = 4s$?

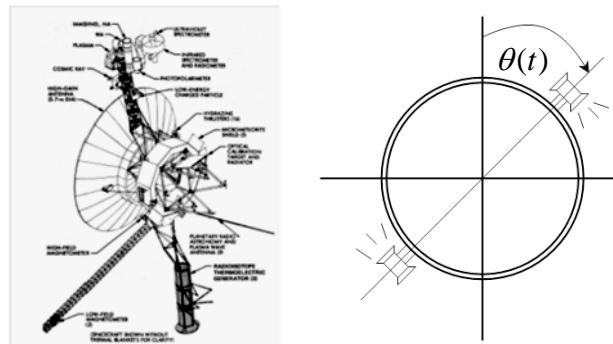
(10 markah)

(d) Tentukan fungsi pindah bagi sistem jika $G(s) = \frac{e^{-0.3s}}{(s+1)}$

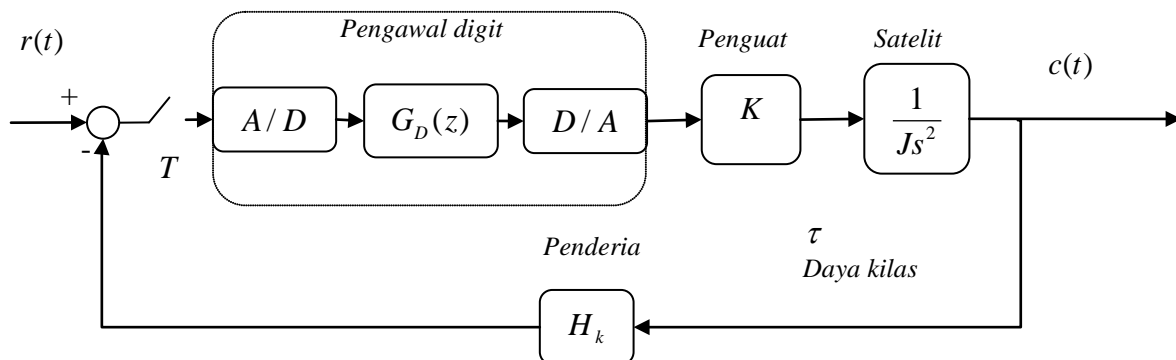
(30 markah)

4. Pertimbangkan sebuah sistem satelit seperti yang dipamerkan dalam Rajah 4a dimana fungsi pindah loji seperti yang terpapar di Rajah 4b. Untuk permasalahan ini, masa sampel ialah $T=0.1$ s, inertia $J=0.1$, gandaan penderia $H_k = 0.02$ dan $D(z)=1$. Telah

diberi ialah $G(z) = Z\left[\frac{1 - e^{-sT}}{s} \frac{10}{s^2}\right] = \frac{0.05(z+1)}{(z-1)^2}$.



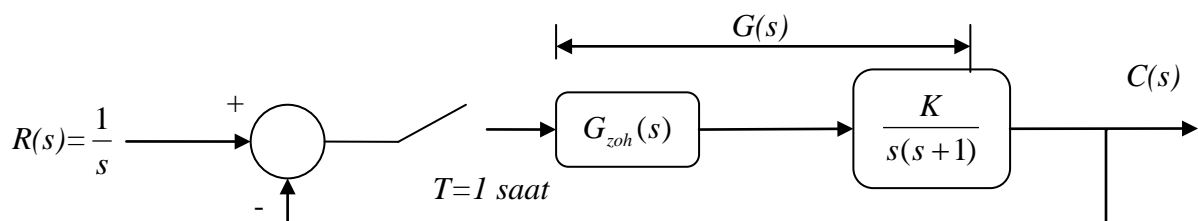
Rajah 4(a) Satelit dan gambarajah jasad bebas



Rajah 4(b) Sistem kawalan satelit digital

- (a) Kaji sistem diatas dengan menerbitkan persamaan ciri gelung tertutup.
(10 markah)
- (b) Analisa sistem digit $G(z)$ dengan melaksanakan analisa ruang-frekuensi dengan menentukan parameter-parameter berikut:
(Nota: Sekiranya plot Nyquist digunakan, tunjukkan kesemua titik-titik penting. Sekiranya plot Bod dilaksanakan, guna kaedah penghampiran asimtot.)
- (i) Frekuensi lintasan fasa
(5 markah)
- (ii) Frekuensi lintasan gandaan
(5 markah)
- (iii) Jidar gandaan
(10 markah)
- (iv) Jidar fasa
(10 markah)
- (v) Plot ruang frekuensi (plot Bod/ plot Nyquist)
(30 markah)
- (c) Apakah yang boleh diterangkan mengenai kestabilan sistem?
(10 markah)
- (d) Tentukan kedua-dua frekuensi satah-s dan satah-w apabila sistem berayun pada ketika stabil berjidar
(20 markah)

5. Pertimbangkan sistem yang ditunjukkan dalam Rajah 5.



Rajah 5 Sebuah sistem kawalan digit gelung tutup

- (a) Untuk $K=1$, sahkan fungsi pindah gelung tutup bagi sebuah sistem kawalan digit yang ditunjukkan diatas

$$\frac{G(z)}{1+G(z)} = \frac{0.368z + 0.264}{z^2 - z + 0.632}$$

(20 markah)

- (b) Untuk $K=1$, kaji sistem kawalan digit yang ditunjukkan dalam Rajah 5 dengan mengira spesifikasi prestasi sistem berikut.

- (i) Nisbah redaman, ζ

(10 markah)

- (ii) Frekuensi Tabii, ω_n

(10 markah)

- (iii) Masa pegun, τ

(10 markah)

- (c) Dengan memanfaatkan teorem yang telah dipelajari, kaji prestasi keadaan-pegun sistem ini dengan memperolehi ralat keadaan-pegun kepada

- (i) masukan unit langkah.

(20 markah)

- (ii) masukan unit tanjakan.

(20 markah)

- (d) Bincangkan tentang pertimbangan antara memenuhi piawai ralat keadaan-pegun dengan kestabilan sistem yang mencukupi.

(10 markah)

6. Diberi adalah sebuah sistem kawalan digit yang mempunyai fungsi pindah gelung-buka seperti berikut:

$$Z[G_{Zoh}(s)G(s)] = G(z) = \frac{0.00484z + 0.00468}{(z-1)(z-0.905)}$$

Andaikan masa sampel $T=1$ s dan sistem mempunyai gandaan suapbalik uniti.

- (a) Tentukan persamaan ciri bagi sistem kawalan digit di atas. (15 markah)
- (b) Tentukan julat bagi gandaan K untuk kestabilan dengan menggunakan ujian kestabilan Jury. (35 markah)
- (c) Carikan gandaan K pada ketika sistem stabil berjidar. (20 markah)
- (d) Carikan frekuensi bagi ayunan terkekal (ketika stabil berjidar). (30 markah)